

实验 7 比热容的测量

比热容是单位质量的物质温度升高 1°C 时需吸收的热量，它的测量是物理学的基本测量之一，属于量热学的范畴。量热学在许多领域都有广泛应用，特别是在新能源的开发和新材料的研制中，量热学的方法是不可缺少的。比热容的测量方法很多，有混合法、冷却法、比较法（用待测比热容与已知比热容比较得到待测比热容的方法）等。本实验用的是电热法测比热容，它是比较法的一种。各种方法，各具特点，但就实验而言，由于散热因素很难控制，不管哪种方法实验的准确度都比较低。尽管如此，由于它比繁杂的理论计算简单、方便，实验还是具有实用价值。当然，在实验中进行误差分析，找出减小误差的方法是必要的。

每种物质处于不同温度时具有不同数值的比热容，一般地讲，某种物质的比热容数值多指在一定温度范围内的平均值。

【预习提要】

- (1) 什么叫“水当量”？实验中的水当量是如何计算的？
- (2) 用电热法测热容量时哪些物理量要进行直接测量？通过的电流强度 I 、电阻 R 等要不要进行测量？
- (3) 实验中采取了哪些措施来防止（或减小）系统与外界进行热交换来提高测量准确度的？
- (4) 为了测准温度，实验中应采取哪些措施？

【实验要求】

- (1) 熟练掌握物理天平、温度计和量热器的使用方法。
- (2) 初步了解热量散失的修正方法。

【实验目的】

用电热法测定液体的比热容。

【实验器材】

量热器两只，稳压电源，温度计，滑线电阻，电流表，开关。

【实验原理】

(一) 基本原理

孤立的热学系统在温度从 T_1 升到了 T_2 时获得的热量 Q 与系统内各物质的质量 m_1 、 m_2 ……和比热容 c_1 、 c_2 ……以及温度变化 $T_2 - T_1$ 有如下关系

$$Q = (m_1c_1 + m_2c_2 + \dots)(T_2 - T_1) \quad (3-7-1)$$

式中, m_1c_1 、 m_2c_2 ……是该物质的热容量。

在进行物质比热容的测量中,除了被测物质和可能用到的水外,还会有其他诸如量热器、搅拌器、温度计等物质参加热交换。为了方便,通常把这些物质的热容量用水的热容量来表示。如果用 m_x 和 c_x 分别表示某物质的质量和比热容, c 表示水的比热容,就应当有

$m_x c_x = c\omega$ 。式中 ω 是用水的热容量表示该物质的热容量后“相当”的质量,我们把它称为“水当量”。水在 20° 时的比热容 c 为 $4.182 \times 10^3 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, 故它的水当量 ω 可用

$$\omega = \frac{c_x}{c} m_x = \frac{c_x}{4.182 \times 10^3} m_x \quad (\text{kg}) \quad (3-7-2)$$

表示。

(二) 实验公式

如图 3-7-1 所示,在两只完全相同的量热器 1 和 2 中分别装入质量为 m_1 和 m_2 , 比热容为 c_1 和 c_2 的两种液体(一种是被测液体,一种是已知比热容的液体),液体中放置有阻值相等的电阻 R 。当通过电流时,根据焦耳-楞次定律,每只电阻产生的热量均为

$$Q = I^2 R t$$

式中, I 为电流强度; t 为通电时间。

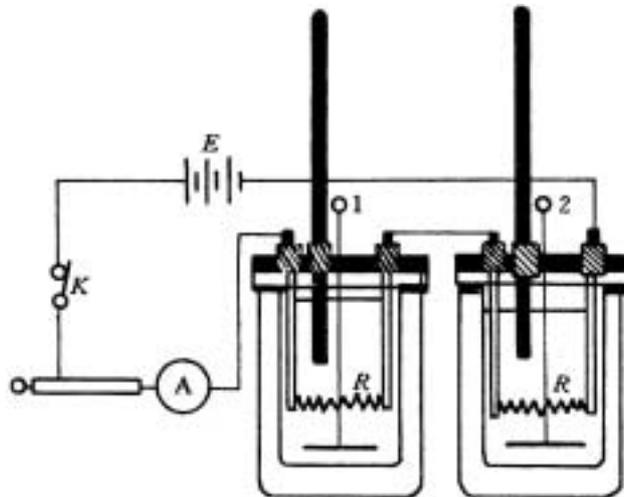


图 3-7-1 测定液体比热容的装置

如果量热器中两种液体(包括量热器及其附件)的初始温度为 T_1 、 T_2 , 在吸收了电阻 R 释放的热量 Q 后, 终了的温度为 τ_1 、 τ_2 , 量热器、搅拌器、电流导入铜棒和温度计用水

当量 ω_1 、 ω_2 表示，水的比热容为 c ，则有

$$Q_1 = (m_1 c_1 + c \omega_1)(\tau_1 - T_1)$$

$$Q_2 = (m_2 c_2 + c \omega_2)(\tau_2 - T_2)$$

由于电阻 R 相同，且采用串联连接，故 $Q_1 = Q_2$ ，即

$$(m_1 c_1 + c \omega_1)(\tau_1 - T_1) = (m_2 c_2 + c \omega_2)(\tau_2 - T_2)$$

由上式可得

$$c_1 = \frac{1}{m_1} \left[(m_2 c_2 + c \omega_2) \frac{\tau_2 - T_2}{\tau_1 - T_1} - c \omega_1 \right] \quad (3-7-3)$$

(三) 水当量 ω 的计算

式 (3-7-3) 中的 ω_1 (或 ω_2) 应当包括量热器内筒、搅拌器、铜棒插入液体中的那部分的水当量 ω_a 和温度计插入液体的那部分水当量 ω_b 。

设量热器内筒、搅拌器和铜棒插入液体中的那部分的总质量为 m_0 。已知铜的比热容 $c_0 = 0.389 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，则根据式 (3-7-2) 有

$$\omega_a = \frac{c_0}{c} m_0 = 0.0930 m_0 \quad (\text{kg})$$

温度计插入液体中的那部分水当量 ω_b 是由玻璃和水银两部分组成的，两者的比热容不同且质量不易测定。好在玻璃的比热容与密度的乘积 (相当于单位体积的热容) 和水银的比热容与密度的乘积很接近，大约都在 $1.9 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ 左右。设温度计插入液体中的体积为 V ，则对应体积 V 的热容量为 $1.9 \times 10^6 V (\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1})$ ，相应的水当量 (即 ω_b) 为 $0.45 \times 10^3 V (\text{kg})$ ，所以总的水当量 ω (ω_1 或 ω_2) 为

$$\omega = 0.0930 m_0 + 0.45 \times 10^3 V \quad (\text{kg}) \quad (3-7-4)$$

如果被比较的液体 (第二种液体) 是已知比热容的水，即 $c_2 = 4.182 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，再称出水和待测液体的质量 m_2 和 m_1 ，测出温度 T_1 、 T_2 、 τ_1 、 τ_2 ，根据式 (3-7-3) 和式 (3-7-4) 就可算出待测液体的比热容 c_1 。

(四) 牛顿冷却定律

实验过程中，由于对流、热传导和热辐射的作用，不管量热器具如何制作，系统不可能完全绝热，必有热量散失。在作精密测量时，需要对系统散失的热量进行修正。当系统与环境温度相差不大时，可以根据牛顿冷却定律来修正。牛顿冷却定律的内容是：当系统与环境温度相差不大时 (约 5°C 左右)，系统向周围散失的热量与系统与环境的温度差及

时间成正比。这个定律可以用一修正公式表示，由于修正式比较复杂，一般不用它。我们的实验是根据牛顿冷却定律，采取下列措施来减小误差的。

(1) 设计实验时最好使量热器的始末温度尽量接近环境温度，例如在环境温度上、下 5°C 左右。

(2) 尽快地获取实验数据。例如，用搅拌器使量热器很快达到平衡，快速而准确地读得所需温度等。

【实验内容】

(1) 用物理天平称出量热器内筒和搅拌器的质量 m_0 、待测液体的质量 m_1 和水的质量 m_2 。

(2) 记下未加热前的温度 T_1 、 T_2 和温度计浸入液体部分的刻度位置。

(3) 加热升温 5°C 左右，记下相对稳定的温度 τ_1 、 τ_2 。

(4) 根据记下温度计的刻度位置，用 20cc 的量筒测出温度计浸入液体部分的体积 V 。

(5) 对调加热电阻装置，按上述要求再测一次。

【数据处理】

(1) 将两次测量的数据分别代入式(3-7-3)和式(3-7-4)，算出每次待测液体的比热容 c_1 ，然后取平均值。

(2) 将测得的液体比热容值与标准值比较，估算实验的相对误差。

(3) 分析产生误差的原因。

【注意事项】

(1) 温度准确测量是本实验的关键之一。要注意温度计不要放在电阻丝旁，搅拌时要十分小心，使系统温度分布均匀，保证温度测量结果真实。

(2) 为了减小系统的热量散失，待测液体升高的温度与环境温度相差不要太大，一般 5°C 为宜；加热时间不宜过长，让液体升温既快又均衡最好。

(3) 在对换电阻装置重测时，必须注意将两只量热器及其附件洗涮干净并吹干，以免两种液体混合，产生不良影响。

(4) 量热器中加入液体要适量，一般以内筒高的三分之二为宜。过满，在搅拌时容易逸出；过少则温度不易测准而产生较大误差。

【思考题】

(1) 如果在实验过程中加热电流发生微小波动，是否会影响测量的结果？为什么？

(2) 实验过程中，量热器不断向外界传导和辐射能量，这两种形式的热量损失量是否会引系统误差？为什么？

(3) 用一只量热器也可以测定液体的比热容。例如，利用公式

$I^2Rt = (c_1m_1 + c\omega_1)(\tau_1 - T_1)$ ，可得

$$c_1 = \left[\frac{I^2Rt}{\tau_1 - T_1} - c\omega_1 \right] \frac{1}{m_1}$$

请您设计一下这个实验如何做？并将它与本次实验进行对比，阐述两者的异同。为什么说本次实验的测量结果更准确些呢？

【附录】 电流量热器

图 3-7-2 是电流量热器结构图。

其中：1—内筒，2—外筒，3—搅棒，4—接线柱，5—橡皮塞，6—温度计，7—圆盖，8—隔热层，9—电阻线圈。

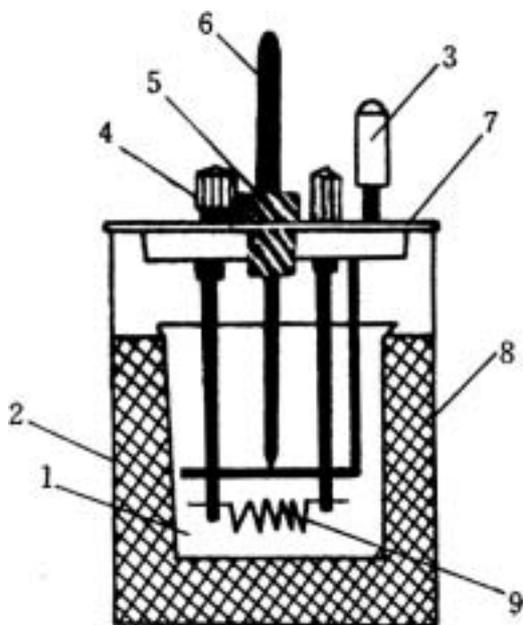


图 3-7-2 电流量热器的结构